



THIS PAGE BLANK (REV.)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-261494

(P2001-261494A)

(43) 公開日 平成13年9月26日 (2001.9.26)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	データ* (参考)
C 3 0 B 29/06	5 0 2	C 3 0 B 29/06	5 0 2 C 4 G 0 7 7
15/14		15/14	5 F 0 5 3
H 0 1 L 21/208		H 0 1 L 21/208	P

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2000-71451(P2000-71451)  
(22) 出願日 平成12年3月15日 (2000.3.15)

(71) 出願人 000228925  
三菱マテリアルシリコン株式会社  
東京都千代田区大手町一丁目5番1号  
(72) 発明者 符 森林  
東京都千代田区大手町1丁目5番1号 三  
菱マテリアルシリコン株式会社内  
(72) 発明者 坂本 吉亮  
東京都千代田区大手町1丁目5番1号 三  
菱マテリアルシリコン株式会社内  
(74) 代理人 100085372  
弁理士 須田 正義

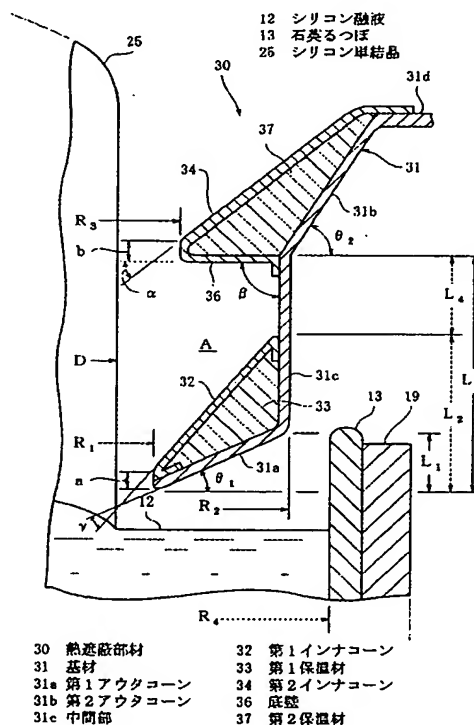
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 シリコン単結晶の引上げ方法及びその装置

(57) 【要約】

【課題】 シリコン単結晶のペーカンシー点欠陥のみならずペーカンシー固まりも低減する。シリコンウェーハにしたときの酸化膜耐圧特性を改善する。

【解決手段】 石英るつぼ13に貯留されたシリコン融液12からシリコン単結晶25を引上げる方法において、シリコン単結晶とシリコン融液の固液界面近傍での単結晶中心位置及び単結晶外周面位置における結晶軸方向の温度勾配をそれぞれ $G_1$  ( $^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ ) 及び $G_2$  ( $^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ ) とするとき、シリコン単結晶を $G_2 - G_1 \leq 1.3$  ( $^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ ) の条件を満たし、かつ引上げに伴ってシリコン単結晶25の外周面近傍の温度が $1400^{\circ}\text{C}$ から $1000^{\circ}\text{C}$ に降下するまでの時間が400分以上となるように引上げる。





### 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 石英るつぽ(13)に貯留されたシリコン融液(12)からシリコン単結晶(25)を引上げる方法において、

前記シリコン単結晶と前記シリコン融液の固液界面近傍での単結晶中心位置及び単結晶外周面位置における結晶軸方向の温度勾配をそれぞれ  $G_1$  ( $^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ ) 及び  $G_2$  ( $^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ ) とするとき、次の式 (1) を満たし、かつ引上げに伴って前記シリコン単結晶(25)の中心及び外周面近傍の温度が  $1400^{\circ}\text{C}$  から  $1000^{\circ}\text{C}$  に降下するまでの時間が  $400$  分以上となるように引上げること

を特徴とするシリコン単結晶の引上げ方法。

$$G_2 - G_1 \leq 1.3 \text{ (}^{\circ}\text{C}/\text{mm}) \quad \cdots \cdots (1)$$

【請求項 2】 チャンバ(11)内に設けられシリコン融液(12)が貯留された石英るつぽ(13)と、前記石英るつぽ(13)の外周面を包囲し前記シリコン融液(12)を加熱するヒータ(18)と、前記シリコン融液(12)から引上げられるシリコン単結晶(25)の外周面を包囲しかつ下端が前記シリコン融液(12)表面から間隔をあけて上方に位置し前記ヒータ(18)からの輻射熱を遮る円筒状の熱遮蔽部材(30)とを備えたシリコン単結晶の引上げ装置において、前記熱遮蔽部材(30)の基材(31)の下部が下方に向うに従って半径が小さくなる第 1 アウタコーン(31a)に形成され、

前記基材(31)の上部が上方に向うに従って半径が大きくなる第 2 アウタコーン(31b)に形成され、

前記第 1 アウタコーン(31a)及び前記基材(31)の中間部(31c)が下方に向うに従って半径が小さくなる第 1 インナコーン(32)により覆われ、

前記第 1 インナコーン(32)と前記第 1 アウタコーン(31a)及び前記基材(31)の中間部(31c)との間に第 1 保温材(33)が充填され、

前記第 2 アウタコーン(31b)が上方に向うに従って半径が大きくなる第 2 インナコーン(34)と前記第 2 インナコーン(34)の下端に連設されかつ前記第 2 アウタコーン(31b)の下端近傍に接続する底壁(36)とにより覆われ、前記第 2 インナコーン(34)及び前記底壁(36)と前記第 2 アウタコーン(31b)との間に第 2 保温材(37)が充填されたことを特徴とするシリコン単結晶の引上げ装置。

【請求項 3】 第 1 アウタコーン(31a)の水平面とのなす角度を  $\theta_1$  とし、第 2 アウタコーン(31b)の水平面とのなす角度を  $\theta_2$  とし、第 2 インナコーン(34)と底壁(36)とのなす角度を  $\alpha$  とし、前記底壁(36)と基材(31)の中間部(31c)とのなす角度を  $\beta$  とし、前記第 1 アウタコーン(31a)と第 1 インナコーン(32)とのなす角度を  $\gamma$  とし、前記第 1 インナコーン(32)の内端面の高さを  $a$  とし、前記第 2 インナコーン(34)の内端面の高さを  $b$  とし、前記第 1 アウタコーン(31a)の下端から上端までの鉛直方向の距離を  $L_1$  とし、前記第 1 アウタコーン(31a)の下端から前記第 1 インナコーン(32)の上端までの鉛直方向の距

離を  $L_2$  とし、前記第 1 アウタコーン(31a)の下端から前記第 2 アウタコーン(31b)の下端までの鉛直方向の距離を  $L_3$  とし、前記第 1 インナコーン(32)の上端から前記第 2 アウタコーン(31b)の下端までの鉛直方向の距離を  $L_4$  とするとき、次の式 (2) ~ (12) を満たす請求項 2 記載の引上げ装置。

$$0^{\circ} < \theta_1 \leq 50^{\circ} \quad \cdots \cdots (2)$$

$$0^{\circ} < \theta_2 \leq 90^{\circ} \quad \cdots \cdots (3)$$

$$10^{\circ} \leq \alpha \leq 60^{\circ} \quad \cdots \cdots (4)$$

$$60^{\circ} \leq \beta \leq 120^{\circ} \quad \cdots \cdots (5)$$

$$10^{\circ} \leq \gamma \leq 60^{\circ} \quad \cdots \cdots (6)$$

$$0\text{mm} \leq a \leq 100\text{mm} \quad \cdots \cdots (7)$$

$$0\text{mm} \leq b \leq 100\text{mm} \quad \cdots \cdots (8)$$

$$0\text{mm} \leq L_1 \leq 100\text{mm} \quad \cdots \cdots (9)$$

$$10\text{mm} \leq L_2 \leq 500\text{mm} \quad \cdots \cdots (10)$$

$$30\text{mm} \leq L_3 \leq 800\text{mm} \quad \cdots \cdots (11)$$

$$10\text{mm} \leq L_4 \leq 300\text{mm} \quad \cdots \cdots (12)$$

### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、チョクラルスキー法 (CZ 法) により石英るつぽに貯留されたシリコン融液からシリコン単結晶を引上げる方法及びその装置に関するものである。

#### 【0002】

【従来の技術】 図 8 に示すように、この種のシリコン単結晶引上げ装置では、チャンバ 1 内部にシリコン融液 2 を貯留する石英るつぽ 3 が設けられ、この石英るつぽ 3 は黒鉛サセプタ 4 に収容される。シリコン融液 2 は石英るつぽ 3 の周囲に配置した円筒状のヒータ 5 で所定温度に加熱制御され、このシリコン融液 2 からシリコン単結晶 6 が引上げられる。この引上げ装置は更にヒータ 5 の周囲に配置された円筒状の保温筒 7 と、この保温筒 7 の上部にアップリング 8 を介して取付けられ石英るつぽ 3 と同軸に円筒状の熱遮蔽部材 9 とを備える。この熱遮蔽部材 9 はヒータ 5 からの輻射熱を遮るとともに、チャンバ 1 内に供給されるアルゴンガスを通過させてシリコン融液 4 の表面に吹き付け、シリコン融液 2 から発生する  $\text{SiO}$  ガス又は  $\text{SiO}_2$  ガスを吹き流すものである。

【0003】 従来、熱遮蔽部材 9 はアップリング 8 上に載るフランジ部 9a と、このフランジ部 9a に連設し引上げられるシリコン単結晶 6 の周囲を包囲する円筒状の直胴部 9b と、この直胴部 9b の下端に連設され下方に向うに従って半径が小さくなるコーン部 9c とを有する。この熱遮蔽部材 9 はカーボン、モリブデン、タングステン等の耐熱性部材により作られる。この熱遮蔽部材 9 を用いて、単結晶中にベカンシー点欠陥 (vacancy point defect) を生じるような速度でシリコン単結晶を引上げた場合でも、引上げ方向の約  $1400 \sim 1000^{\circ}\text{C}$  の温度範囲は比較的長い間、単結晶内部で外方拡散 (単結晶の内部から外側に向う拡散) や坂道拡散 (高温

側即ち下方に向う拡散)が促進されるため、その点欠陥の密度を低減する。ここで、ベークンシー点欠陥とは、一つのシリコン原子がシリコン結晶格子で正常的な位置の一つから離脱した点欠陥をいう。この結果、この単結晶から切り出したシリコンウェーハの表面に酸化膜を形成し、この酸化膜を介して直流電圧を印加したときの酸化膜の耐圧特性(Time Zero Dielectric Breakdown、TZDB)は比較的良好になる。

【0004】一方、本出願人は図9に示すように、熱遮蔽部材10を備えた単結晶引上げ装置を提案した(特願平11-177535)。図9において、図8と同一構成要素は同一符号で示している。この熱遮蔽部材10は半径が下方に向けて漸次小さくなるテーパ状の円筒部材であり、その上端のフランジ部10aがアッパリング8を介して保温筒7の上部に取付けられる。熱遮蔽部材10の下端10bはシリコン融液2の表面近傍に位置し、熱遮蔽部材10の下端面10cは、半径方向内側から半径方向外側に上方に向けて傾斜して形成される。この下端面10cの水平面に対する傾斜角 $\theta$ は30度である。熱遮蔽部材10は内部に炭素繊維からなる保温材10eを充填したカーボン板10fにより構成される。この熱遮蔽部材10は、その下端部10dが上部より厚肉な保温材10eで形成されている。この熱遮蔽部材10を用いて、前述した速度とほぼ同一速度でシリコン単結晶を引上げた場合、シリコン単結晶とシリコン融液の固液界面近傍での単結晶中心位置及び単結晶外周面位置における結晶軸方向の温度勾配をそれぞれ $G_1$ ( $^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ )及び $G_2$ ( $^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ )とすると、両温度勾配の差( $G_2 - G_1$ )が1.3( $^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ )程度以下で比較的小さいため、前述したベークンシー点欠陥が単結晶中で三次元的に集まったベークンシー固まり(vacancy agglomerates)が形成されにくくなる。このベークンシー固まりには、COP(Crystal Originated Particles)やFPD(Flow Pattern Defect)等がある。COPはSC-1洗浄後にレーザパーティクルカウンタでパーティクルとしてカウントされた底の深いエッチピットであり、FPDはシリコン融液から引上げられたシリコン単結晶から切り出したシリコンウェーハを長時間化学エッチング(Seccoエッチング液)したときに現れる特異なフローパターンを呈する痕跡の源である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、図8に示す熱遮蔽部材9を用いた場合、シリコン単結晶とシリコン融液の固液界面近傍での上記両温度勾配の差( $G_2 - G_1$ )が2.0( $^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ )程度以上で比較的大きくなるため、COP等の三次元欠陥であるベークンシー固まりの密度が熱遮蔽部材10を用いた場合より高くなる。このため、この単結晶から切り出したシリコンウェーハの表面に酸化膜を形成して、その耐圧を評価したときに酸化膜耐圧特性が悪化する不具合があった。また図9に示す

熱遮蔽部材10を用いた場合、引上げ方向の約1400~1000 $^{\circ}\text{C}$ の温度範囲が比較的小さいため、単結晶中のベークンシー点欠陥の外方拡散や坂道拡散が十分に行われない。この結果、この単結晶から作られたシリコンウェーハの酸化膜耐圧特性が図8に示す熱遮蔽部材9を用いた場合より悪化する問題点があった。

【0006】本発明の目的は、シリコン単結晶のベークンシー点欠陥のみならずベークンシー固まりも低減し得るシリコン単結晶の引上げ方法及びその装置を提供することにある。本発明の別の目的は、シリコンウェーハにしたときの酸化膜耐圧特性を改善し得るシリコン単結晶の引上げ方法及びその装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】請求項1に係る発明は、図1及び図2に示すように、石英るつぼ13に貯留されたシリコン融液12からシリコン単結晶25を引上げる方法において、シリコン単結晶とシリコン融液の固液界面近傍での単結晶中心位置及び単結晶外周面位置における結晶軸方向の温度勾配をそれぞれ $G_1$ ( $^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ )及び $G_2$ ( $^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ )とすると、次の式(1)を満たし、かつ引上げに伴ってシリコン単結晶25の中心及び外周面近傍の温度が1400 $^{\circ}\text{C}$ から1000 $^{\circ}\text{C}$ に降下するまでの時間が400分以上となるように引上げることを特徴とするシリコン単結晶の引上げ方法である。

【0008】

$$G_2 - G_1 \leq 1.3 \text{ (}^{\circ}\text{C}/\text{mm}) \quad \dots\dots (1)$$

請求項1に係る引上げ方法によれば、両温度勾配の差( $G_2 - G_1$ )が1.3( $^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ )程度以下で比較的小さいため、単結晶中のCOP等の三次元欠陥であるベークンシー固まりの密度が低減する。また単結晶25の外周面近傍の温度が1400 $^{\circ}\text{C}$ から1000 $^{\circ}\text{C}$ に降下するまでの時間が400分以上と長いため、単結晶内部で外方拡散や坂道拡散が促進され、単結晶中のベークンシー点欠陥の密度を低減する。

【0009】請求項2に係る発明は、チャンバ11内に設けられシリコン融液12が貯留された石英るつぼ13と、この石英るつぼ13の外周面を包囲しシリコン融液12を加熱するヒータ18と、シリコン融液12から引上げられるシリコン単結晶25の外周面を包囲しかつ下端がシリコン融液12表面から間隔をあけて上方に位置しヒータ18からの輻射熱を遮る円筒状の熱遮蔽部材30とを備えたシリコン単結晶の引上げ装置の改良である。その特徴ある構成は、熱遮蔽部材30の基材31の下部が下方に向うに従って半径が小さくなる第1アウトコーン31aに形成され、基材31の上部が上方に向うに従って半径が大きくなる第2アウトコーン31bに形成され、第1アウトコーン31a及び基材31の中間部31cが下方に向うに従って半径が小さくなる第1インナコーン32により覆われ、この第1インナコーン32と第1アウトコーン31a及び基材31の中間部31c



との間に第1保温材33が充填され、第2アウトコーン31bが上方に向うに従って半径が大きくなる第2インナコーン34とこの第2インナコーン34の下端に連設されかつ第2アウトコーン31bの下端近傍に接続する底壁36とにより覆われ、第2インナコーン34及び底壁36と第2アウトコーン31bとの間に第2保温材37が充填されたことにある。請求項2に係る引上げ装置によれば、請求項1に記載された引上げ条件を実現でき、本発明の目的が達成される。

#### 【0010】

【発明の実施の形態】次に本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。図1及び図2に示すように、シリコン単結晶の引上げ装置20のチャンバ11内には、シリコン融液12を貯留する石英るつぼ13が設けられ、この石英るつぼ13は黒鉛サセプタ14に収容される。石英るつぼ13の下面は上記黒鉛サセプタ14を介して支軸16の上端に固定され、この支軸16の下部はるつぼ駆動手段17に接続される(図1)。るつぼ駆動手段17は図示しないが石英るつぼ13を回転させる第1回転用モータと、石英るつぼ13を昇降させる昇降用モータとを有し、これらのモータにより石英るつぼ13が所定方向に回転し得るとともに、上下方向に移動可能となっている。石英るつぼ13の外周面は石英るつぼ13から所定の間隔をあけてカーボンヒータ18により包囲され、このヒータ18は保温筒19により包囲される。ヒータ18は石英るつぼ13に投入された高純度のシリコン多結晶を加熱・溶融してシリコン融液12にする。またチャンバ11の上端には円筒状のケーシング21が接続される。このケーシング21には引上げ手段22が設けられる。引上げ手段22はケーシング21の上端部に水平状態で旋回可能に設けられた引上げヘッド(図示せず)と、このヘッドを回転させる第2回転用モータ(図示せず)と、ヘッドから石英るつぼ13の回転中心に向って垂下されたワイヤケーブル23と、上記ヘッド内に設けられワイヤケーブル23を巻取り又は繰出す引上げ用モータ(図示せず)とを有する。ワイヤケーブル23の下端にはシリコン融液12に浸してシリコン単結晶25を引上げるための種結晶24が取付けられる。

【0011】またケーシング21の周壁にはチャンバ11内にアルゴンガスのような不活性ガスを供給するための供給パイプ27が接続される。またチャンバ11の底壁には不活性ガスを排出するための排出パイプ28の一端が接続され、この他端には図示しない真空ポンプが接続される。供給パイプ27及び排出パイプ28にはこれらのパイプ27、28を流れる不活性ガスの流量を調整する第1及び第2流量調整弁27a、28aがそれぞれ設けられる。また引上げ用モータの出力軸(図示せず)にはロータリエンコーダ(図示せず)が設けられ、るつぼ駆動手段17には石英るつぼ13内のシリコン融液12の重量を検出する重量センサ(図示せず)と、支軸1



6の昇降位置を検出するリニヤエンコーダ(図示せず)とが設けられる。ロータリエンコーダ、重量センサ及びリニヤエンコーダの各検出出力はコントローラ(図示せず)の制御入力に接続され、コントローラの制御出力は引上げ手段22の引上げ用モータ及びるつぼ駆動手段の昇降用モータにそれぞれ接続される。またコントローラにはメモリ(図示せず)が設けられ、このメモリにはロータリエンコーダの検出出力に対するワイヤケーブル23の巻取り長さ、即ちシリコン単結晶25の引上げ長さが第1マップとして記憶され、重量センサの検出出力に対する石英るつぼ13内のシリコン融液12の液面レベルが第2マップとして記憶される。コントローラは重量センサの検出出力に基づいて石英るつぼ13内のシリコン融液12の液面を常に一定のレベルに保つように、るつぼ駆動手段17の昇降用モータを制御するように構成される。

【0012】またシリコン単結晶25の外周面と石英るつぼ13の内周面との間にはシリコン単結晶25を包囲する熱遮蔽部材30が設けられる。図1に詳しく示すように、この熱遮蔽部材30は、その基材31の下部が下方に向うに従って半径が小さくなる第1アウトコーン31aに形成される。また基材31の上部が上方に向うに従って半径が大きくなる第2アウトコーン31bに形成される。基材31の中間部31cは両アウトコーン31aと31bの間に設けられ、石英るつぼ13と同軸に円筒状に形成される。中間部31cはこの実施の形態では同一半径の円筒であるが、下方に向うに従って半径が小さくなるコーンでもよい。第1アウトコーン31a及び中間部31cは下方に向うに従って半径が小さくなる第1インナコーン32により覆われ、第1インナコーン32と第1アウトコーン31a及び中間部31cとの間には第1保温材33が充填される。また第2アウトコーン31bは、上方に向うに従って半径が大きくなる第2インナコーン34とこの第2インナコーン34の下端に連設されかつ第2アウトコーン31bの下端に接続する底壁36とにより覆われる。この第2インナコーン34及び底壁36と第2アウトコーン31bとの間には第2保温材37が充填される。この第2アウトコーン31bの上端には基材31のフランジ部31dが連設され、フランジ部31dは保温筒19の上部に設けられたアップリング26に取付けられる。フランジ部31dをアップリング26に取付けることにより、第1アウトコーン31aの下端がシリコン融液12の表面から所定の距離だけ上方に位置するようになる。第1アウトコーン31a、中間部31c、第2アウトコーン31b及びフランジ部31dは一体的に形成される。基材31、両インナコーン32、34及び底壁36はそれぞれカーボン、モリブデン、タングステンにより、或いは表面にSiCがコーティングされたカーボン等により形成される。また両保温材33、37はフェルト状の炭素繊維により形成され

る。

【0013】シリコン単結晶25の直径をDとし、第1インナコーン32の下端の半径を $R_1$ とし、中間部31cの半径を $R_2$ とし、第2インナコーン34の下端の半径を $R_3$ とし、石英るつぼ13の半径を $R_4$ とすると、 $(D/2) < R_1 < R_3 < R_2 < R_4$ の関係を有するように形成される。この実施の形態では、第1アウトコーン31aの水平面とのなす角度を $\theta_1$ とし、第2アウトコーン31bの水平面とのなす角度を $\theta_2$ とし、第2インナコーン34と底壁36とのなす角度を $\alpha$ とし、底壁36と基材31の中間部31cとのなす角度を $\beta$ とし、第1アウトコーン31aと第1インナコーン32とのなす角度を $\gamma$ とし、第1インナコーン32の内端面の高さをaとし、第2インナコーン34の内端面の高さをbとし、第1アウトコーン31aの下端から上端までの鉛直方向の距離を $L_1$ とし、第1アウトコーン31aの下端から第1インナコーン32の上端までの鉛直方向の距離を $L_2$ とし、第1アウトコーン31aの下端から第2アウトコーン31bの下端までの鉛直方向の距離を $L_3$ とし、第1インナコーン32の上端から第2アウトコーン31bの下端までの鉛直方向の距離を $L_4$ とすると、次の式(2)～(12)を満たすように、熱遮蔽部材30は構成される。

【0014】

$$0^\circ < \theta_1 \leq 50^\circ \quad \cdots \cdots (2)$$

$$0^\circ < \theta_2 \leq 90^\circ \quad \cdots \cdots (3)$$

$$10^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ \quad \cdots \cdots (4)$$

$$60^\circ \leq \beta \leq 120^\circ \quad \cdots \cdots (5)$$

$$10^\circ \leq \gamma \leq 60^\circ \quad \cdots \cdots (6)$$

$$0\text{mm} \leq a \leq 100\text{mm} \quad \cdots \cdots (7)$$

$$0\text{mm} \leq b \leq 100\text{mm} \quad \cdots \cdots (8)$$

$$0\text{mm} \leq L_1 \leq 100\text{mm} \quad \cdots \cdots (9)$$

$$10\text{mm} \leq L_2 \leq 500\text{mm} \quad \cdots \cdots (10)$$

$$30\text{mm} \leq L_3 \leq 800\text{mm} \quad \cdots \cdots (11)$$

$$10\text{mm} \leq L_4 \leq 300\text{mm} \quad \cdots \cdots (12)$$

このように構成されたシリコン単結晶の引上げ装置の動作を説明する。シリコン単結晶25をシリコン融液12から所定の引上げ速度で引上げると、このシリコン単結晶とシリコン融液の固液界面近傍の温度分布は、シリコン融液12からの輻射熱により第1保温材33の温度が上昇しているため、シリコン単結晶25からの急激な放熱は抑制され、シリコン単結晶25の外周部の急激な温度低下を阻止できる。この固液界面近傍での単結晶中心位置及び単結晶外周面位置における結晶軸方向の温度勾配をそれぞれ $G_1$  ( $^\circ\text{C}/\text{mm}$ )及び $G_2$  ( $^\circ\text{C}/\text{mm}$ )とすると、両温度勾配の差( $G_2 - G_1$ )は1.3 ( $^\circ\text{C}/\text{mm}$ )以下となり、シリコン単結晶25中の鉛直方向の温度勾配の径方向分布が略均一になる。この結果、COP等の三次元欠陥であるベカンシー固まりの密度が低減する。なお、この両温度勾配の差( $G_2 - G_1$ )は、 $\theta_1$

を20～40度にし、 $\theta_2$ を50～70度にし、 $\alpha$ を30～50度にし、 $\beta$ を80～100度にし、 $\gamma$ を20～40度にし、 $L_4$ を100～150mmにすることにより、更に小さい1.0 ( $^\circ\text{C}/\text{mm}$ )以下にすることができる。またシリコン単結晶とシリコン融液の固液界面近傍とは、シリコン単結晶25とシリコン融液12の固液界面から結晶軸方向に0～10mm離れた位置をいう。

【0015】またシリコン単結晶25が引上げられて、第1保温材33と第2保温材37の間の領域A(図1)に達すると、底壁36の存在によりこの領域Aでは不活性ガスの流下によっても熱の移動が比較的少なく高温を維持する。また保温材37の存在により、シリコン単結晶25からの放熱は抑制される。このため、この領域A及び第2インナコーン37に接する単結晶25の外周面の温度が降下しにくくなり、単結晶25の中心及び外周面近傍の温度が1400℃から1000℃に降下するまでの時間が400分以上、好ましくは430分以上かかるようになる。この結果、単結晶中のベカンシー点欠陥の外方拡散や坂道拡散が促進され、ベカンシー点欠陥密度が低減する。

【0016】

【実施例】次に本発明の実施例を比較例とともに詳しく説明する。

<実施例1>図1及び図2に示すような直径(D)が155±5mmのシリコン単結晶25を引上げるためのシリコン単結晶の引上げ装置20を用いた。この装置20の熱遮蔽部材30の各部位のサイズ及び角度は以下の通りである。第1インナコーン32の下端の半径 $R_1$ は100mmであり、中間部31cの半径 $R_2$ は195mmであり、第2インナコーン34の下端の半径 $R_3$ は100mmであり、石英るつぼ13の半径 $R_4$ は220±5mmであった。また第1アウトコーン31aの水平面とのなす角度 $\theta_1$ は30度であり、第2アウトコーン31bの水平面とのなす角度 $\theta_2$ は75度であり、第2インナコーン34と底壁36とのなす角度 $\alpha$ は55度であり、底壁36と基材31の中間部31cとのなす角度 $\beta$ は90度であり、第1アウトコーン31aと第1インナコーン32とのなす角度 $\gamma$ は35度であった。また第1インナコーン32の内端面の高さaは15mmであり、第2インナコーン34の内端面の高さbは10mmであった。更に第1アウトコーン31aの下端から上端までの鉛直方向の距離 $L_1$ は30mmであり、第1アウトコーン31aの下端から第1インナコーン32の上端までの鉛直方向の距離 $L_2$ は115mmであり、第1アウトコーン31aの下端から第2アウトコーン31bの下端までの鉛直方向の距離 $L_3$ は250mmであり、第1インナコーン32の上端から第2アウトコーン31bの下端までの鉛直方向の距離 $L_4$ は125mmであった。なお、熱遮蔽部材30の基材31、両インナコーン32、34及び底壁36をそれぞれカーボンにより形成し、両

保温材33、37をフェルト状の炭素繊維により形成した。

【0017】＜比較例1＞図8に示すような実施例1と同一直径のシリコン単結晶6を上げるためのシリコン単結晶の引上げ装置を用いた。このシリコン単結晶の引上げ装置にはフランジ部9a、直胴部9b及びコーン部9cを有する熱遮蔽部材9が設けられる。直胴部9bの直径は400mm、高さは300mmであった。またコーン部9cの上端の半径は200mm、下端の半径は105mmであり、高さは55mmであった。この熱遮蔽部材6の材質は実施例1の熱遮蔽部材の基材の材質と同一とした。この引上げ装置は上記のように熱遮蔽部材9の形状及びサイズを変更したことを除いて、実施例1の装置と同一とした。

【0018】＜比較例2＞図9に示すような実施例1と同一直径のシリコン単結晶6を上げるためのシリコン単結晶の引上げ装置を用いた。このシリコン単結晶の引上げ装置にはフランジ部10a、下端部10c、下端部10d及びカーボン板10fを有する熱遮蔽部材10が設けられる。下端部10cの水平面とのなす角度 $\theta$ は30度であり、カーボン板10fの上端半径は205mm、下端半径は100mm、高さは350mmであった。また下端部10dの半径は200mm、高さは195mmであった。カーボン板10f及び保温材10eの各材質は実施例1の熱遮蔽部材の基材及び保温材の各材質と同一とした。この引上げ装置は上記のように熱遮蔽部材9の形状及びサイズを変更したことを除いて、実施例1の装置と同一とした。

【0019】＜比較試験及び評価＞

(a) 熱履歴と温度勾配差

実施例1、比較例1及び比較例2の各引上げ装置でシリコン単結晶への輻射熱を考慮した熱伝導解析プログラムに基づいて、単結晶中の熱履歴及び固液界面近傍の温度勾配差の径方向変化状況をそれぞれシミュレーション計算して求めた。前者を図3に、後者を図4に示す。図3において、たて軸はシリコン単結晶の外周近傍( $D/2 = 77.5\text{mm}$ )の温度を示し、よこ軸は固液界面からの距離を示す。固液界面から300mmの高さの位置における単結晶の外周温度が、図9に示す比較例2では800℃になるのに対して、図8に示す比較例1及び図2に示す実施例1では1000℃及び960℃にそれぞれ維持され、単結晶が急激に冷却されていないことが確認された。図4において、たて軸は径方向の各位置における単結晶の固液界面近傍(界面から10mm)の温度勾配から単結晶中心位置の固液界面近傍(界面から10mm)の温度勾配を差し引いた温度勾配差を示す。たて軸では2.00℃/mmを基準として100%としている。またよこ軸には比較例1の外周面位置での温度勾配の差を100%としたときの実施例1及び比較例2のそれぞれの相対的な温度勾配の差を示す。単結晶の外周面

位置において、図8に示す比較例1の温度勾配差が100%のときに、図9に示す比較例2及び図2に示す実施例1ではそれぞれ約67%及び約62%に低下し、径方向の温度勾配変化が小さいことが確認された。

【0020】(b) COPの数

実施例1、比較例1及び比較例2の各引上げ装置において、同一の条件でシリコン単結晶を上げた。得られた3種類のシリコン単結晶から切出されたシリコンウェーハをラッピングし、面取り加工を施した後、鏡面研磨することにより、直径6インチで厚さ $650 \pm 25\mu\text{m}$ の3種類のシリコンウェーハを用意した。

【0021】実施例1、比較例1及び比較例2の各シリコンウェーハの表面の直径150mmの円内における0.12 $\mu\text{m}$ 以上のCOPの数をレーザパーティクルカウンタ(KLA-Tencor社製、SFS6200)を用いて調べた。これらのそれぞれの平均値を表1に示す。

【0022】

【表1】

	0.12 $\mu\text{m}$ 以上のCOPの数 (個/ $\text{cm}^2$ )
実施例1	0.1以下
比較例1	1.1
比較例2	0.1以下

【0023】表1から明らかなように、0.12 $\mu\text{m}$ 以上のCOPの数が、比較例1のシリコンウェーハでは平均1.1/ $\text{cm}^2$ であったのに対して、実施例1及び比較例2のシリコンウェーハではそれぞれ平均0.1個/ $\text{cm}^2$ 以下で少なかった。

【0024】(c) 酸化膜耐圧特性

COPを測定したウェーハと同種の実施例1、比較例1及び比較例2の各シリコンウェーハについて酸化膜耐圧(TZDB)の測定を行った。測定したシリコンウェーハのうち、一部は66% $\text{O}_2$ 雰囲気下、1000℃で15分間熱処理し、残りはその熱処理しなかった。この測定はウェーハ表面に厚さ25nmの酸化膜を形成し、その上に電極を形成して、10MV/cmの直流電圧を100秒間印加した。印加した後、再度同様に電圧を印加し、電極に流れる電流量により、各点の酸化膜の破壊の有無を調べ、全点に対する破壊した点数から酸化膜の欠陥密度を算出した。図5(a)、図6(a)及び図7

(a)に熱処理なしの実施例1のウェーハ、比較例1のウェーハ及び比較例2のウェーハの結果をそれぞれ示す。また図5(b)、図6(b)及び図7(b)に熱処理した実施例1のウェーハ、比較例1のウェーハ及び比較例2のウェーハの結果をそれぞれ示す。図5～図7において黒く塗りつぶした部分は酸化膜が破壊した部分で



ある。

【0025】図8に示した引上げ装置で引上げた単結晶にはCOP等のペーカンシー固まりの三次元欠陥が多いため、この単結晶から切出された比較例1の「熱処理なし」(図6(a))のウェーハの酸化膜耐圧は低かった。またこのペーカンシー固まりのサイズが $0.12\mu\text{m}$ 以上と大きいため、比較例1の「熱処理あり」(図6(b))のウェーハの酸化膜耐圧は、熱処理によってもCOP等のペーカンシー固まり欠陥は消滅せず、やはり低かった。一方、図9に示した引上げ装置で引上げた単結晶にはペーカンシー点欠陥が非常に多いため、この単結晶から切出された比較例2の「熱処理なし」(図7(a))のウェーハの酸化膜耐圧は非常に低かった。しかしこのペーカンシー点欠陥のサイズが $0.12\mu\text{m}$ 未満で小さいため、比較例2の「熱処理あり」(図7(b))のウェーハの酸化膜耐圧は、熱処理によってペーカンシー点欠陥が消滅し、向上した。これらに対して、図1及び図2に示した引上げ装置で引上げた単結晶にはペーカンシー固まりの三次元欠陥もペーカンシー点欠陥も少ないため、この単結晶から切出された実施例1の「熱処理なし」(図5(a))のウェーハの酸化膜耐圧も、実施例1の「熱処理あり」(図5(b))のウェーハの酸化膜耐圧も、高かった。これは図1に示す第1保温材33によりCOP等のペーカンシー固まりの三次元欠陥が単結晶内に発生するのが抑制され、第2保温材37で引上げられた単結晶を長時間保温するため、ペーカンシー点欠陥が殆ど消滅したためと考えられる。

【0026】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によれば、単結晶中心位置及び単結晶外周面位置における結晶軸方向の温度勾配の差( $G_2 - G_1$ )が $1.3(^{\circ}\text{C}/\text{mm})$ 程度以下で比較的小さくなるため、COP等の三次元欠陥であるペーカンシー固まりの密度を小さくすることができ、また単結晶の外周面近傍の温度が $1400^{\circ}\text{C}$ から $1000^{\circ}\text{C}$ に降下するまでの時間を400分以上と長くすることができるため、単結晶内部で外方拡散や坂道拡散が促進され、ペーカンシー点欠陥の密度を低減することができる。この結果、シリコン単結晶をシリコンウェー

ハにしたときの酸化膜耐圧特性を改善することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明実施の形態のシリコン単結晶引上げ装置の熱遮蔽部材の要部断面図。

【図2】そのシリコン単結晶の引上げ装置の全体構成図。

【図3】実施例1、比較例1及び比較例2のシリコン単結晶の外表面近傍の熱履歴を示す図。

【図4】実施例1、比較例1及び比較例2のシリコン単結晶の固液界面近傍の温度勾配差の径方向変化状況を示す図。

【図5】実施例1のシリコンウェーハに直流電圧を印加したときの酸化膜欠陥密度を示す図。

【図6】比較例1のシリコンウェーハに直流電圧を印加したときの酸化膜欠陥密度を示す図。

【図7】比較例2のシリコンウェーハに直流電圧を印加したときの酸化膜欠陥密度を示す図。

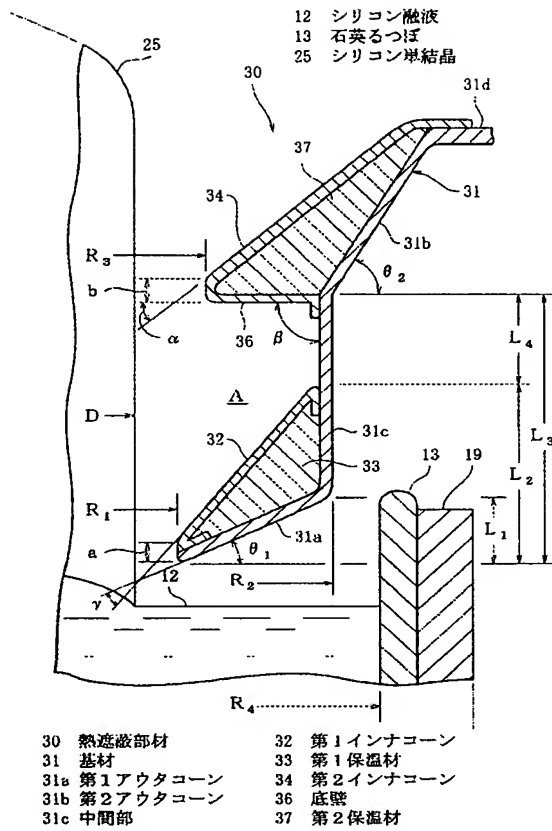
【図8】従来のシリコン単結晶の引上げ装置の全体構成図。

【図9】従来の別のシリコン単結晶の引上げ装置の全体構成図。

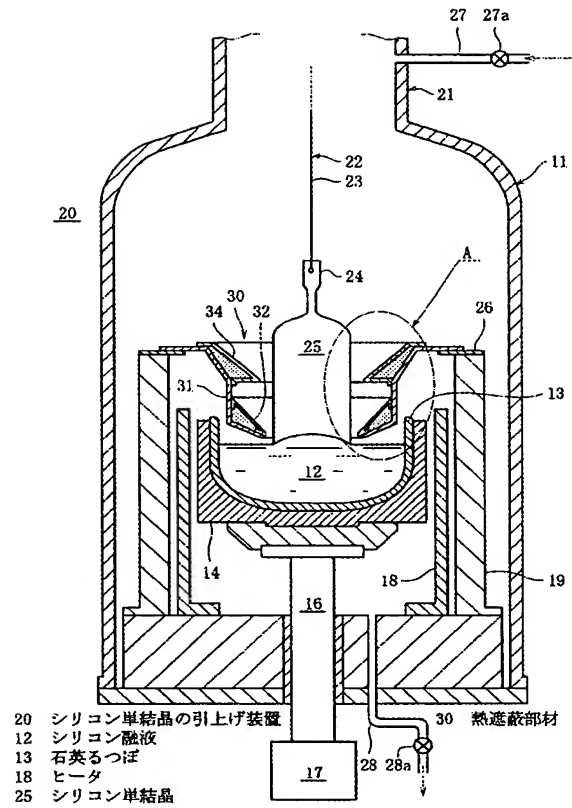
【符号の説明】

- 11 チャンバ
- 12 シリコン融液
- 13 石英るつぼ
- 18 ヒータ
- 25 シリコン単結晶
- 30 熱遮蔽部材
- 31 基材
- 31a 第1アウトコーン
- 31b 第2アウトコーン
- 31c 中間部
- 32 第1インナーコーン
- 33 第1保温材
- 34 第2インナーコーン
- 36 底壁
- 37 第2保温材

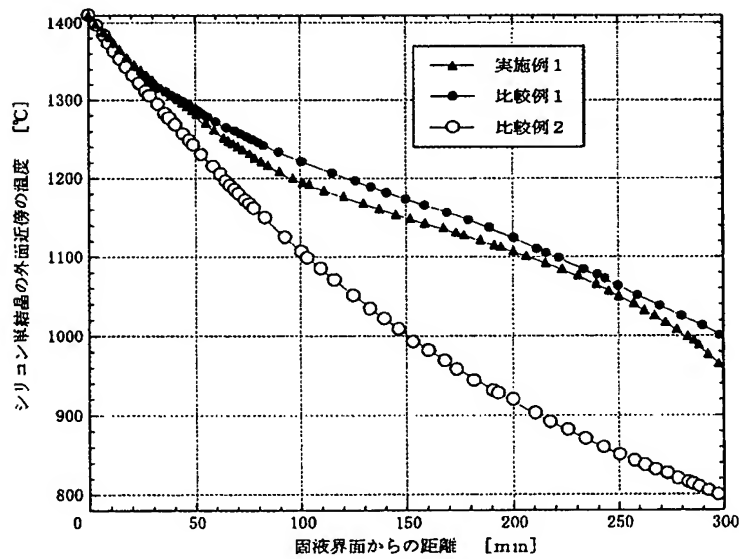
【図1】



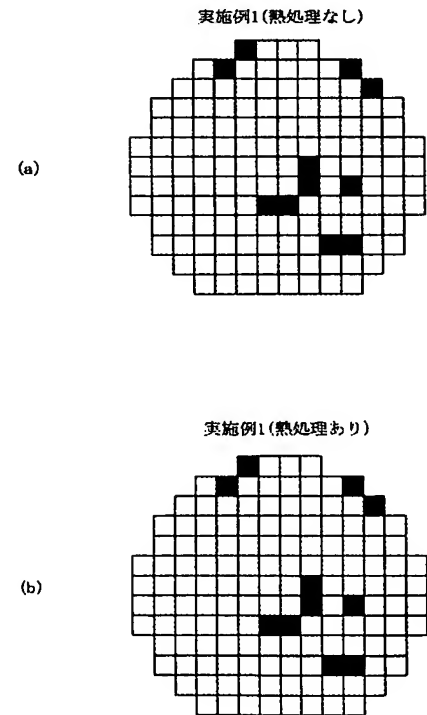
【図2】



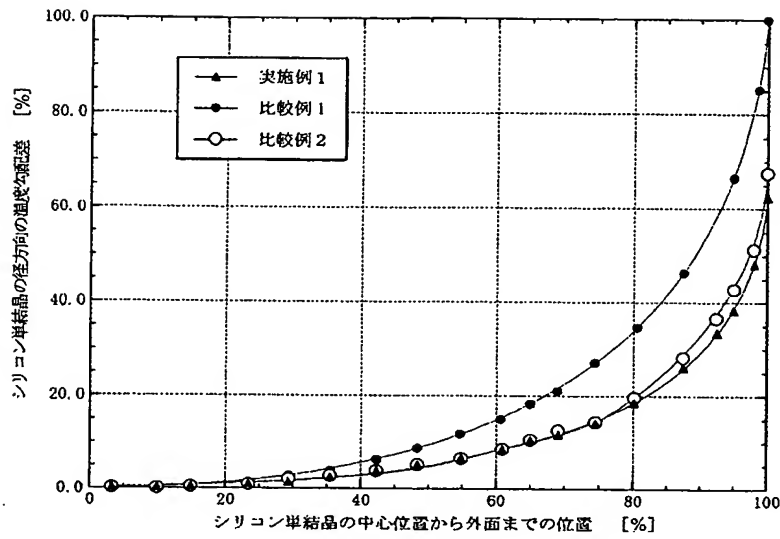
【図3】



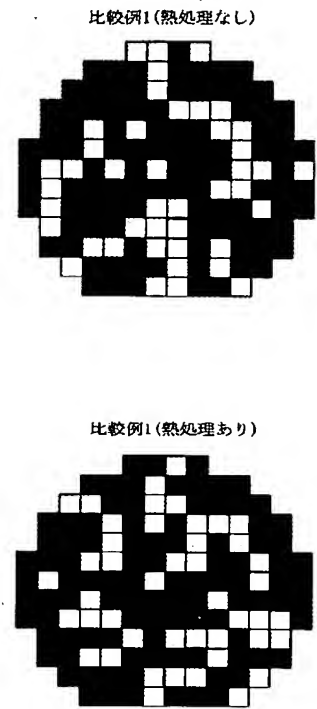
【図5】



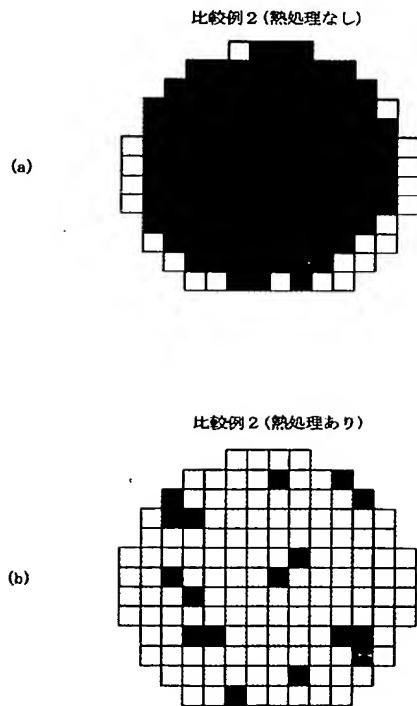
【図4】



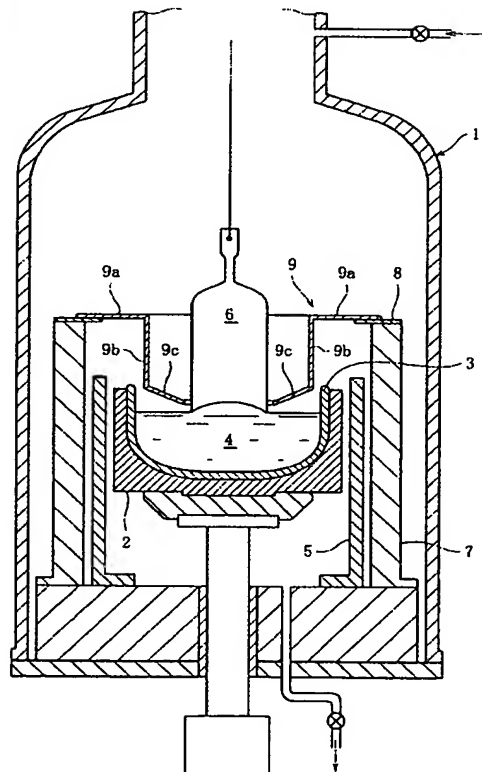
【図6】



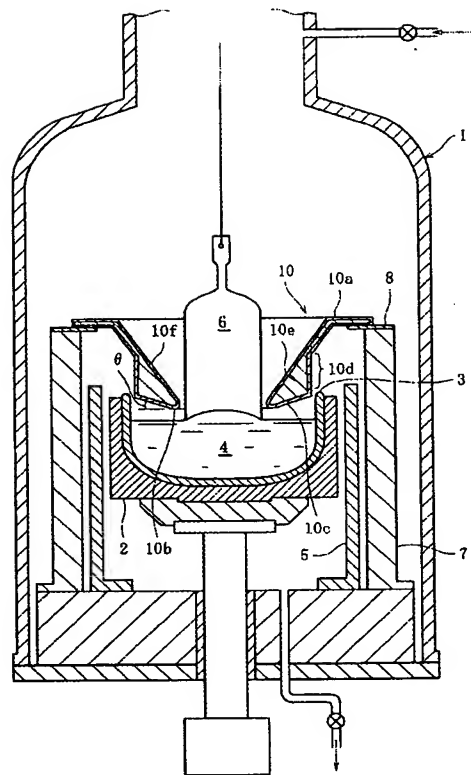
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 渡辺 貴  
東京都千代田区大手町1丁目5番1号 三  
菱マテリアルシリコン株式会社内

(72)発明者 小野 直樹  
埼玉県大宮市北袋町1丁目297番地 三菱  
マテリアル株式会社シリコン研究センター  
内

(72)発明者 島貫 康  
埼玉県大宮市北袋町1丁目297番地 三菱  
マテリアル株式会社シリコン研究センター  
内

Fターム(参考) 4G077 AA02 BA04 CF10 EG19 EG20  
GA02 HA12 PE22  
5F053 AA13 AA26 AA46 BB04 BB13  
DD01 FF04 GG01 RR03 RR20